

● 试验与研究 ●

焊趾 TIG 熔修对 10Ni5CrMoV 钢焊接接头 弯曲疲劳性能的影响

王任甫, 薛 钢

(洛阳船舶材料研究所, 河南 洛阳 471039)

摘 要: 采用悬臂弯曲疲劳试验方法比较了相同加载条件下焊趾 TIG 熔修与否的 10Ni5CrMoV 钢焊接接头的疲劳寿命, 并对焊趾 TIG 熔修与否的焊接接头在加载条件下的应力应变场进行了有限元计算。结果表明 TIG 熔修对焊趾形状的改善作用能有效降低焊趾处的应力集中程度, 明显提高 10Ni5CrMoV 钢焊接接头弯曲疲劳性能。

关键词: 焊接接头; 焊趾; TIG 熔修; 弯曲疲劳; 有限元计算

中图分类号: TG405; TG441.8

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2007)01-0001-03

Influence of TIG Dressing on Bending Fatigue Ability of 10Ni5CrMoV Steel Welded Joint

WANG Ren-fu, XUE Gang

(Luoyang Ship Material Research Institute, Luoyang 471039, China)

Abstract: Using the cantilever bending fatigue test, the fatigue life of the 10Ni5CrMoV steel welded joints with and without TIG dressing on the toe was compared at the same loading condition, and the stress field and strain field of welded joints were calculated by the finite element method. The results indicate that the improving effect of the TIG dressing on the toe shape can effectively reduce the stress concentration, and evidently improve the bending fatigue ability of 10Ni5CrMoV steel welded joints.

Key words: welded joint; toe; TIG dressing; bending fatigue; finite element calculation

疲劳破坏是焊接结构失效的重要形式, 焊接接头是其疲劳性能较为薄弱的部位。因此, 焊接接头疲劳性能的改善一向都是研究热点, 人们提出了多种改善工艺, 如焊趾打磨、余高切除、锤击、焊趾 TIG 熔修、焊趾超声波处理、低相变点焊条熔修等, 并对各种工艺对接头疲劳性能的改善效果及其作用机理进行了大量的研究^[1-7]。研究表明^[5-7], 采用不加丝钨极氩弧焊方式对焊趾进行重熔处理的焊趾 TIG 熔修工艺是其中效果较好、操作简单、易于实现的一种疲劳性能改善途径, 对屈服强度小于 700 MPa 的结构钢焊接接头低应力高周疲劳性能具有较好的改善作用; 但关于焊趾 TIG 熔修对屈服强度大于 700 MPa 的结构钢焊接接头高应力低周疲劳性能影响的研究则报道不多。本文采用大尺寸试样研究了焊趾 TIG 熔修对高强度 10Ni5CrMoV 钢焊接接头弯曲疲劳性能的影响。

1 试验材料与方法

试验用 10Ni5CrMoV 钢及与之相配套的手工焊条熔敷金属的化学成分与常规力学性能如表 1 和表 2 所示。试板尺寸(长×宽×厚)为 600 mm×215 mm×60 mm 和 600 mm×520 mm×60 mm, 开双 U 型坡口。焊接参数见表 3, 焊后进行去氢处理。对先焊面焊缝进行焊趾 TIG 熔修, 熔修参数见表 4。后焊面焊缝保持原始形貌。焊后采用线切割从板厚中心部位剖开, 保留焊缝表面一侧, 按图 1 所示形状与尺寸加工疲劳试样, 保证焊缝处于

表 1 化学成分(质量分数, %)

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	S	P
母材	0.10	0.24	0.56	4.68	0.57	0.41	0.03	0.003	0.005
焊缝	0.05	0.34	1.42	2.48	0.80	0.53	-	0.010	0.014

表 2 常规力学性能

	$\sigma_{0.2}$ / MPa	σ_b / MPa	δ (%)	$A_{KV(20^\circ\text{C})}$ / J	$A_{KV(50^\circ\text{C})}$ / J
母材	840	875	19.0	188, 184, 174	-
焊缝	905	975	16.5	-	42, 44, 40

表 3 焊接参数

电源极性	电流 / A	电压 / V	线能量 / $\text{kJ}\cdot\text{mm}^{-1}$	预热 / 道间温度 / $^\circ\text{C}$
直流反接	165~175	23~30	1.6~2.0	120~140

收稿日期: 2007-04-30

作者简介: 王任甫(1965-), 男, 河南长垣人, 硕士, 高级工程师, 主要从事结构钢及其焊接方面的应用研究工作;

电话: 13837947711; E-mail: wangrenfu2004@sina.com

表 4 TIG 熔修工艺

电流类型	电极直径 / mm	保护气体	电流 / A	电压 / V	移动速度 / (cm·min ⁻¹)
直流	3.2	氩气	100~110	15~20	12~15

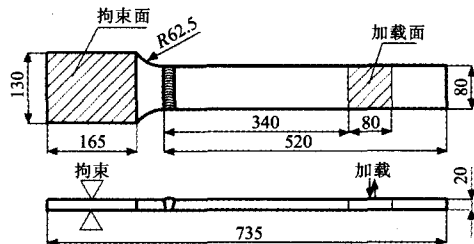


图 1 试样形状、尺寸与加载条件

过渡圆弧与平行段切点位置。加工获得焊趾 TIG 熔修和焊趾未处理共 2 组(每组 3 件)疲劳试样。

焊接接头疲劳试验在 2T 联动式悬臂弯曲疲劳试验机上进行,拘束与加载方式如图 1 所示。弯曲加载一方面可以使最大应力处于接头表面,最大程度地检验接头表面疲劳性能,另一方面能采用较小吨位的试验机进行较大尺寸试样的试验,同时也与很多实际焊接结构件承受弯曲载荷相一致。由于试样一侧为焊缝表面、另一侧为焊缝心部,为了检验焊缝表面一侧疲劳性能,采用 0- 推式弯曲加载,载荷波形为正弦波,如图 2 所示,即焊缝表面一侧承受循环拉应力,焊缝心部一侧承受循环压应力,从而保证疲劳裂纹源于焊缝表面一侧。加载频率为 0.2 Hz,载荷控制方式为弯矩控制。试样的疲劳寿命为断裂时的循环次数。

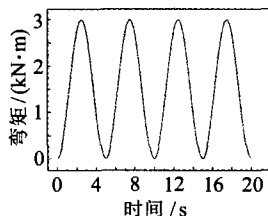


图 2 载荷控制

2 试验结果

焊趾 TIG 熔修与否的焊接接头疲劳寿命与加载条件如表 5 所示。在加载条件基本一致的情况下,焊趾未做熔修处理的焊接接头平均疲劳寿命为 7.857×10^4 次,焊趾 TIG 熔修的焊接接头平均疲劳寿命为 1.689×10^5 次,相比提高了 123%。

表 5 焊趾 TIG 熔修对焊接接头疲劳寿命的影响

焊接接头类型	加载条件		疲劳寿命 (次)
	最大弯矩 / (kN·m)	最小弯矩 / (kN·m)	
焊趾未处理	2.99	-0.04	61 860
	2.86	0	102 240
	2.99	0.04	71 640
焊趾 TIG 熔修	2.99	-0.04	250 680
	2.99	-0.09	120 960
	3.04	0.09	135 060

焊趾未做熔修处理的焊接接头的疲劳断裂位置全部在焊趾处,而经 TIG 熔修处理的焊接接头的疲劳断裂位置则全部在母材上。上述试验结果充分表明,焊趾 TIG 熔修有效地提高了 10Ni5CrMoV 钢焊接接头的弯曲疲劳性能。

3 讨论

影响焊接接头疲劳性能的根本因素主要是作用在焊接接头中的各种交变应力场和材料本身抵抗交变应力作用的能力。焊趾部位由于以下原因而成为焊接接头疲劳性能的薄弱点:一方面,原始焊趾处过渡不连续,形成应力集中点,在外加载荷作用下焊趾处产生的应力场要大于其他部位;另一方面,由于焊接热循环作用,焊接接头中的微观组织十分不均匀,导致最后焊道、中间焊道、道间热影响区、母材热影响区等各部位材质不均匀,在载荷作用下应力应变场分布变得复杂;另外,焊趾处出现各种焊接缺陷的概率较大,极易成为疲劳裂纹源。

一般认为^[3],焊趾 TIG 熔修能有效改善焊趾处几何形状、消除焊趾处的各种缺陷、增加了焊趾处表面硬度,从而有效提高焊接接头的疲劳性能。为定性比较 TIG 熔修对加载条件下焊趾处应力应变状态的改善作用,对同等加载条件下焊趾 TIG 熔修前后焊接接头应力应变场进行有限元计算。有限元模型尺寸与加载条件和实际情况一致, TIG 熔修对焊趾外形的改善作用在模型中采用对焊趾进行平滑过渡得以体现,如图 3 所示;同时考虑焊接接头的材料不均匀性:热影响区和最后焊层强度高、塑性差,母材和中间焊道强度低、塑性好,不同区域采用不同的材料常数,如表 6 所示。

表 6 材料常数

材料	部位	$\sigma_{0.2}$ / MPa	ϵ_p	σ_b / MPa	ϵ_m	E / GPa	ν
材料 1	母材、中间焊道	840	0.004 0	875	0.17	210	0.32
材料 2	最后焊层、热影响区	905	0.004 3	975	0.14	210	0.32

为了兼顾计算精度与计算效率,网格划分是采用智能划分,单位类型为 10 节点四面体单元,距离焊缝较远的母材部分网格尺寸相对较大,焊缝与热影响区部分网格划分较细,如图 4 所示。在对距离焊缝中心 380 mm 处板厚方向施加 30 mm 的位移载荷后,焊趾 TIG 熔修与否的焊接接头局部区域均发生了塑性变形。焊趾未进行处理的焊趾

接头中 Mises 塑性应变最大值为 0.003 591 (位于焊趾线上靠近两侧处, 如图 5a 所示), Mises 应力最大值为 1 075 MPa (位于焊趾线上, 如图 6a 所示); 焊趾 TIG 熔修的焊接接头中 Mises 塑性应变最大值为 0.001 984 (位于 TIG 熔修区域靠近两侧处, 如图 5b 所示), Mises 应力最大值为 995 MPa (位于 TIG 熔修区域, 如图 6b 所示)。相比之下, TIG 熔修使 Mises 塑性应变和 Mises 应力最大值分别降低了 44.8% 和 7.4%。

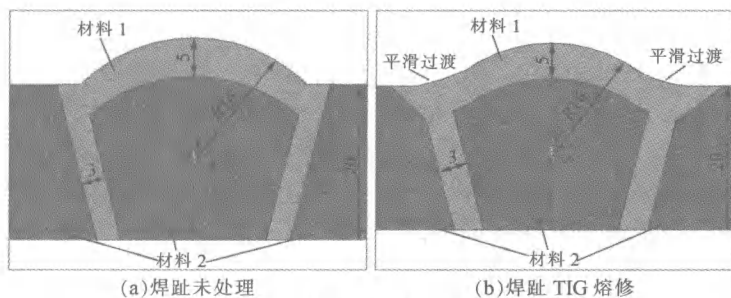


图 3 焊接接头截面形状

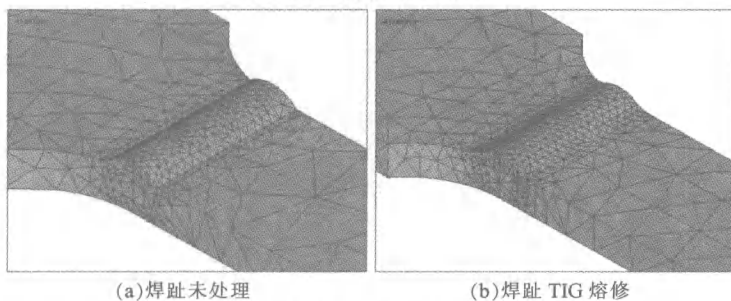


图 4 焊接接头有限元模型

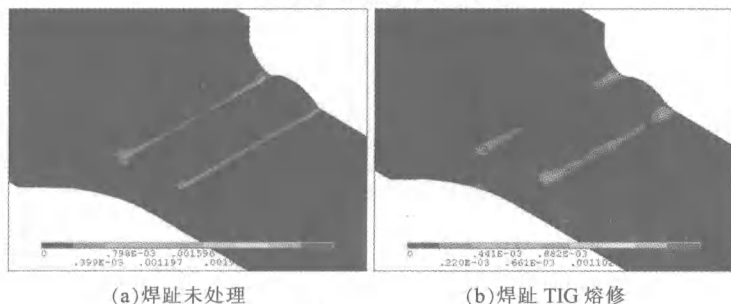


图 5 焊接接头 Mises 塑性应变分布

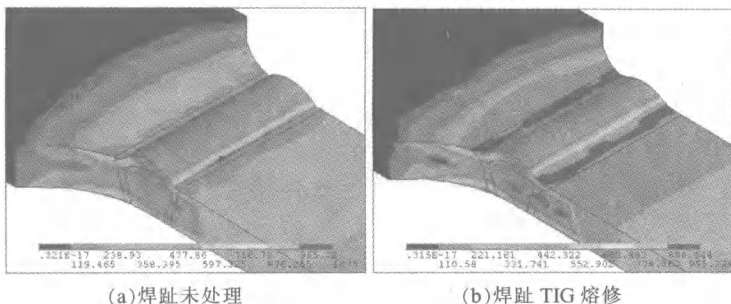


图 6 焊接接头 Mises 应力分布

在不考虑焊接残余应力条件下, 上述有限元计算结果表明, 焊趾 TIG 熔修对焊趾处几何外形的改善作用能有效降低加载条件下焊趾处的应力应变, 从而有效提高焊接接头的弯曲疲劳性能, 表 5 所示的试验结果也充分说明了焊趾 TIG 熔修对 10Ni5CrMoV 钢焊接接头弯曲疲劳性能的改善作用。

4 结论

(1) 焊趾 TIG 熔修能有效提高 10Ni5CrMoV 钢焊接接头的弯曲疲劳性能, 在本试验条件下, 经焊趾 TIG 熔修处理后弯曲疲劳寿命提高了 123%;

(2) 数值模拟结果表明, TIG 熔修对焊趾形状的改善作用能有效降低焊趾处的应力集中程度, 从而降低加载条件下焊趾处的应力应变水平, 提高接头的疲劳性能。

参考文献:

- [1] Chitoshi Miki, Kengo Anami, Hideki Tani, Ichiro Sugimoto. Fatigue strength improvement methods by treating the weld toe [A]. 溶接学会論文集[C]. 1999, 17(1): 111-119.
- [2] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册, 第 3 卷, 焊接结构 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.175-177.
- [3] Haagensen P J. Fatigue improvement techniques advantages and liminations [J]. Welding in the World, 2003, 47(7): 43-63.
- [4] Sonsino C M. Fatigue life improvement of welded structures by post-weld treatments and some limitations by geometry and loading mode [J]. Revue de Metallurgie, 2007, 104(1): 51-57.
- [5] Dahle T. Design fatigue strength of TIG-dressed welded joints in high-strength steels subjected to spectrum loading [J]. International Journal of Fatigue, 1998, 20(9): 677-681.
- [6] Horn A M, Huther I, Lieurade H P. Fatigue behaviour of T-joints improved by TIG dressing [J]. Welding in the World, 1998, 41(4): 273-280.
- [7] Koichi Osawa, Tsuyoshi Shiozaki, Toshiaki Urabe, et al. Improvement of fatigue properties of fillet lap joints by applying local heat treatment with TIG arc [A]. 溶接学会論文集 [C]. 1999, 17(2): 319-325. ㊦